

PUBLICATION NUMBER : 02185070
PUBLICATION DATE : 19-07-90

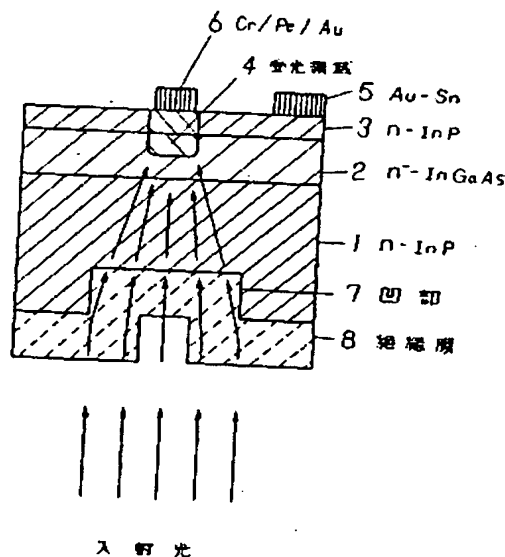
APPLICATION DATE : 12-01-89
APPLICATION NUMBER : 01005243

APPLICANT : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD;

INVENTOR : SHIBATA ATSUSHI;

INT.CL. : H01L 31/0248

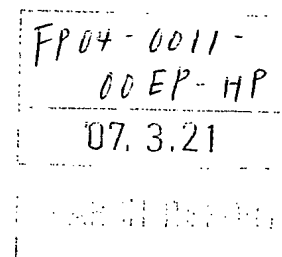
TITLE : PHOTODETECTOR AND
MANUFACTURE THEREOF



ABSTRACT : PURPOSE: To obtain a photodetector having a high speed operation and a wide photodetection area by condensing an optical signal to the photodetecting area through condenser lens formed by laminating insulating films whose refractive indices are sequentially varied in a recess formed on the rear of a substrate.

CONSTITUTION: A condenser lens is not formed on a part directly above a photodetection region, but so formed as to surround the upper part directly above the photodetecting region. An SiO_2 film is, for example, so deposited initially on the side face of a recess as to enhance its refractive index toward the center of its lens, X of $\text{Si}_3\text{N}_4\text{XO}_{6(1-X)}$ is sequentially increased to form an Si_3N_4 film at the center. The relationship between the refractive index and a composition X satisfies a linear relation and its composition is so varied that a square distribution is provided with respect to the thickness of an insulating film in the refractive index to obtain a distributed refractive index type condenser lens. The composition X of the $\text{Si}_3\text{N}_4\text{XO}_{6(1-X)}$ is controlled easily by altering the flowrate ratio of N_2O to NH_3 of SiH_4 , N_2O , NH_3 of doping gases. Thus, coupling with a fiber is facilitated, the photodetecting region can be reduced, and a high speed photodetector can be obtained.

COPYRIGHT: (C)1990,JPO&Japio



⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

平2-185070

⑬ Int. Cl.³

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 平成2年(1990)7月19日

H 01 L 31/0248

7522-5F

H 01 L 31/08

H

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全6頁)

⑮ 発明の名称 受光素子とその製造方法

⑯ 特 願 平1-5243

⑰ 出 願 平1(1989)1月12日

⑱ 発 明 者	大 塚 信 之	大阪府門真市大字門真1006番地	松下電器産業株式会社内
⑱ 発 明 者	松 田 賢 一	大阪府門真市大字門真1006番地	松下電器産業株式会社内
⑱ 発 明 者	柴 田 淳	大阪府門真市大字門真1006番地	松下電器産業株式会社内
⑲ 出 願 人	松下電器産業株式会社	大阪府門真市大字門真1006番地	
⑳ 代 理 人	弁理士 栗野 重孝	外1名	

明 細 書

1. 発明の名称

受光素子とその製造方法

2. 特許請求の範囲

(1) 化合物半導体基板と、前記基板上に積層された光吸収層と、前記光吸収層の一部領域内に形成され前記光吸収層と伝導型の異なる受光領域と、前記基板裏面に形成された凹部と、前記凹部に屈折率の順次変化した絶縁膜を積層することで形成した集光レンズを含み、前記集光レンズにより光信号が前記受光領域に集光されることを特徴とした受光素子。

(2) 化合物半導体基板上に光吸収層をエピタキシャル成長する工程と、前記光吸収層の一部領域に前記光吸収層と伝導型の異なる受光領域を形成する工程と前記基板裏面を凹型にエッチングする工程と前記凹型部に屈折率を順次変化させて絶縁膜を堆積する工程を含むことを特徴とした受光素子の製造方法。

3. 発明の詳細な説明

産業上の利用分野

本発明は集光レンズを内蔵した受光素子の構造及びその製造方法に関するものであり、光信号を凹型の集光レンズにより集光することによりファイバーとの結合が容易でかつ受光領域を小さくでき高速動作の可能な受光素子として応用できる。

従来の技術

受光素子と集光レンズを同一チップ内に集積化している受光装置は、例えば基板裏面にイオンビームエッチング法によりマイクロレンズを作成するものとして第4図に示すものがある。(熊井次男他 昭和62年秋期応物予稿 18a-ZK-6) n⁺-InP基板11上にn⁺-InP層12、i-InGaAs層13、およびi-InGaAs層13上の一部にp⁺-InP層15が積層されており、受光領域16となっている。またi-InGaAs層13上の一部には、n-InP層14も積層されており、n-InP層14上にはn側電極17としてAuGeが、p⁺-InP層15上にはp側電極18としてAuZnが蒸着されて

いる。基板11裏面にイオンビームエッチング法によりマイクロレンズ18が形成されている。すなわち、光ファイバーから出射した光は、マイクロレンズ18により集光され、受光領域内で焦点を結ぶ。その結果光信号に対応した電気信号をn側電極17と、p側電極18より得ることができる。

また、屈折率を順次変化させることで集光効果を持つものとして内付CVD法をはじめ外付CVD法、VAD法などにより作成した分布屈折率型光ファイバーが知られている。ここでは特に光CVD法と同様に、閉まれた空間にガスを流すことで絶縁膜の堆積を行なうものとして内付CVD法を第5図に示す。(内田長志他「光デバイス技術入門」p. 39)内付CVD法とは高純度の石英管21中に光ファイバーの主材料であるSiのハロゲン化物 $SiCl_4$ 、 Si_2Cl_6 、ドーパ剤のハロゲン化物 $GeCl_4$ 、 $SnCl_4$ 、その他24($POCl_3$ 、 BCl_3)などをガス状にして送り込み、石英管21を回転させながら外部から約1500℃にバーナー25などによって加熱して化学反応を起こさせ、原

材料の石英管への送出量制御によって屈折率の異なる石英ガラスを管内に堆積させた後、その石英管を押しつぶすことで半径方向に屈折率の異なる光ファイバーを得る方法である。このようにして得られた分布屈折率形の光ファイバー、またはこの光ファイバーを短く切り出した分布屈折率形のレンズ単体として集光効果を示すものがある。

発明が解決しようとする課題

集光レンズを集積化した受光素子はすでに報告されている。しかしながら、第4図に示す受光素子は、集光レンズとして凸レンズを用いているために集光レンズと光ファイバーが接した場合光ファイバーのコア部を傷つける可能性がある。このように凸レンズを用いているため光ファイバーとの光軸合わせなど実装が難しいという問題がある。本発明は、このような従来の問題を解決するものである。すまわち光ファイバーからの光が集光レンズのいずれの位置に入射した場合でも受光領域内に集光可能なものであり、かつ集光レンズを凹型としたため、絶縁膜表面は平面になっており光

ファイバーを密着することができる。また終端を球状に加工した光ファイバーを用いた場合その先端の一部を凹部に挿入することも可能であり光軸合わせが非常に容易になる。

また、分布屈折率型の集光効果を示すレンズとしては、光ファイバーを初めとして従来より多くの報告がある。しかしながら、第5図に示したような分布屈折率型光ファイバーは、1000℃以上にガスを加熱することで石英ガラス上に屈折率が順次変化した絶縁膜を堆積するものであり、化合物基板の特に凹部の垂直面に対しても水平面と同様な膜厚の絶縁膜を堆積することは、不可能であるという問題点があった。また、第5図に示した分布屈折率型光ファイバーを切断するなどして分布屈折率型集光レンズを作成することは可能であるがこれを化合物半導体基板の的確な位置に実装することは非常に困難を伴う。本発明は、このような従来の問題を解決するものであり、凹部を有する化合物半導体基板上に、例えば基板に対して垂直面と水平面と同じ厚みの絶縁膜を堆積する

ことの可能な光CVD法を用いて絶縁膜を積層することで、容易に分布屈折率型の集光レンズを作成することができる。

課題を解決するための手段

本発明は上記問題点を解決するために、化合物半導体基板と、前記基板上に積層された光吸収層と、前記光吸収層の一部領域に形成され前記光吸収層と伝導型の異なる受光領域と、前記基板裏面に形成された凹部と、前記凹部に屈折率の順次変化した絶縁膜を積層することで形成した集光レンズを含み、前記集光レンズにより光信号が前記受光領域に集光されることを特徴とした受光素子を提供するものであり、また、化合物半導体基板上に光吸収層をエピタキシャル成長する工程と、前記光吸収層の一部領域に前記光吸収層と伝導型の異なる受光領域を形成する工程と前記基板裏面を円筒形にエッチングする工程と前記凹部に屈折率を順次変化させて絶縁膜を堆積する工程を含むことを特徴とした受光素子の製造方法を提案しようとするものである。

作用

本発明の受光素子は、基板裏面に集光レンズを内蔵したもので、従来より多く提案されている集光を目的としたマイクロレンズと受光素子をディスプレイに集積化するものに対して光軸の調整が不用である点で大量生産に適した構造となっている。

この集光レンズの作成方法としては、例えば、レンズの中心部ほど屈折率が高くなるように、凹部側面に最初に例えば SiO_2 膜を堆積し $\text{Si}_3\text{N}_{4-x}\text{O}_{x(1-x)}$ の x を順次増加させて中心部に於いては Si_3N_4 膜とする。屈折率と組成 x の関係が直線関係を満たしているとして、屈折率が絶縁膜の厚みに対して2乗分布をとるように組成を変化させることで分布屈折率型の集光レンズを得ることができる。 $\text{Si}_3\text{N}_{4-x}\text{O}_{x(1-x)}$ の組成 x の制御は、ドーピングガスである SiH_4 、 N_2O 、 NH_3 のうち N_2O と NH_3 の流量比を変えることで容易に可能となる。

絶縁膜の堆積方法としては、凹部の垂直面と水

る。ここで、光の軌跡が一点に収束しないのは、光ファイバーの先端を集光レンズと同様に円錐形としたためである。集光レンズを通過した光は基板表面で回折したのち直進して第3図(b)に示した矢印の実線となる。ここで第3図(b)において凹部に積層する絶縁膜を凹部の周辺から中心部に向けて $\text{Si}_3\text{N}_{4-x}\text{O}_{x(1-x)}$ の組成 x を0から1へと変化させる。集光レンズの外径と内径との差を $2a=20\mu\text{m}$ とし、レンズの厚みを $a=10\mu\text{m}$ としたときレンズの最も外周部を通過する光は、 $L_1=44.8\mu\text{m}$ のところで集光することになる。

光が屈折率が二乗分布をとるレンズの最外周部に入射した場合の計算方法を以下に示す。

A: 第3図(a)において光が $B'BCC'$ の範囲を進む場合の光の軌跡は

$$y = a \cdot \cos(gx)$$

$$g = 2\Delta/a$$

$$\Delta = (n_{\text{Si}_3\text{N}_4} - n_{\text{SiO}_2}) / n_{\text{Si}_3\text{N}_4}$$

となる。ところで、光が直線ABに到達する

平面に対して等しい膜厚の絶縁膜を堆積するために例えば光CVD法を用いると良い。加えて光CVD法では、基板を約200℃に加熱する程度で絶縁膜の堆積が可能となり絶縁膜を厚く積層することによるクラックの発生の危険性が少ない。

実施例

まず、絶縁膜の構造としては、第3図(a)に斜線で示したように受光領域直上部には集光レンズを作成せず基板と平行に絶縁膜を堆積する。これは平行光線が入射するとして受光領域の範囲以内に入射する光まで集光する必要がないためである。従って集光レンズは受光領域直上部を取り囲むように形成される。第3図(a)中に矢印で光路を示している。いま、説明を簡単にするために第3図(b)に示したように左右のレンズ領域を接合して考える。ここで、集光レンズの屈折率が2乗分布をとるようにすると、集光レンズは分布屈折率型光ファイバーの一部とみなされる。分布屈折率型光ファイバー中の光の軌跡は \cos 関数で示され、第3図(b)に点線で示したようにな

場所 $x=y$ より

$$a = 10\mu\text{m}, n_{\text{Si}_3\text{N}_4} = 2.0, n_{\text{SiO}_2} = 1.45$$

とすると

$$x_0 = 8.20\mu\text{m}, y_0 = 8.20\mu\text{m},$$

$$dy/dx = -0.424 \text{ となる。}$$

B: 第3図において光が $ABBC$ の範囲を進む場合、光の通過する距離が短いとして光の軌跡は次式に近似される。

$$x = x_0 \cdot \cos(gy) + g \cdot dy/dx \cdot \sin(gy)$$

いま、 $x = a - x_0$ とすると

$$y_1 = 7.43\mu\text{m}, dy/dx = -0.430$$

$$\theta_1 = 0.406 \text{ rad となる。}$$

C: 直線ACにおいて SiO_2 と InP の屈折率差により次式で示す屈折を生ずる。

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_{\text{SiO}_2}}{n_{\text{InP}}} = \frac{1.45}{3.35}$$

その結果 $\theta_2 = 0.164 \text{ rad}$

$$dy/dx = \tan \theta_2 = 0.166$$

その後、光は直進するとして

$$L_1 = y_1 / (dy/dx) = 44.8 \mu\text{m}$$

$$L_2 = (y_1 + 15 \mu\text{m}) / (dy/dx) = 135 \mu\text{m}$$

となる。

受光領域と集光レンズとの距離は受光領域の大きさを $15 \mu\text{m}$ とすると第3図(a)中に示したように基板裏面から $L_1 = 44.8 \mu\text{m}$ と $L_2 = 135 \mu\text{m}$ の間にある必要がある。この場合光ファイバーの位置が、集光レンズのどの位置にあって光は受光領域に集光することができる。

以上述べてきたように、本発明の集光レンズ付き受光素子を用いて、受光領域を $15 \mu\text{m} \phi$ としレンズの外径と内径の差を $20 \mu\text{m}$ とすれば、従来の受光素子において $35 \mu\text{m} \phi$ の受光径をもち $15 \mu\text{m} \phi$ の受光径を持つ受光素子と同様な動作速度を得ることができる。また、光ファイバーとの結合において $15 \mu\text{m} \phi$ の受光径をもつ受光素子に対して $35 \mu\text{m}$ の合わせ余裕をうることができる。

第1図は本発明による受光素子の一実施例を示す断面図である。n-InP基板1上にn-In

GaAs光吸収層2とn-InP光透過層3が積層されており、Znの気相拡散等によって形成されたP型受光領域4とともにPINホトダイオードを構成している。PINホトダイオードには、リング状のp側電極6およびn側電極5が蒸着されている。p側電極6として例えばCr/Pt/Auを用いn側電極5としては例えばAu-Snを用いる。基板1の裏面に凹部7を形成しておりその下に絶縁膜8を屈折率を変えながら堆積している。

第2図は本発明による受光素子の製造方法の一実施例について示す断面図である。n-InP基板1(キャリア濃度 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、基板厚さ $300 \mu\text{m}$)上にn-InGaAs光吸収層2(キャリア濃度 1×10^{18} 、膜厚 $3 \mu\text{m}$)、n-InP光透過層3(キャリア濃度 1×10^{17} 、膜厚 $1 \mu\text{m}$)をエピタキシャル成長させる。(第2図a)。次に光透過層と光吸収層にZnを 500°C にて6分間拡散を行い、直径 $15 \mu\text{m}$ 深さ $2 \mu\text{m}$ のp型拡散領域を形成し受光領域4とする。(第

2図b)。光透過層3上にリフトオフによりAu-Sn n側電極5を形成したのち、受光領域4上にCr/Pt/Au p側電極6をリフトオフにより形成しシンター処理を行なう(第2図c)。次に基板1裏面にAr-Br系のリアクティブイオンエッチングにより垂直性良く高深エッチングを行なう。エッチングにより形成された凹部7は直径 $35 \mu\text{m} \phi$ 、深さ $10 \mu\text{m}$ とする(第3図d)。最後に集光レンズを作成するために絶縁膜8を堆積する。堆積中の基板温度は 200°C とし、 2000 ごとに $10 \mu\text{m}$ 堆積するまで $\text{Si}_3\text{N}_4 \times \text{O}_{(1-x)}$ の組成Xを屈折率が2乗分布をとるように0から0.20まで変化させる。絶縁膜8の凹部の内径は $15 \mu\text{m}$ である(第2図e)。

本実施例に示した受光素子は $\text{Si}_3\text{N}_4 \times \text{O}_{(1-x)}$ の組成Xを0から0.20までとした。その結果受光領域の位置は $L_1 = 155 \mu\text{m}$ 、 $L_2 = 507 \mu\text{m}$ の間となり基板の厚さすなわち受光領域と集光レンズの距離をその中間である $L = 300 \mu\text{m}$ とした。これは SiO_2 を堆積した後には残留 O_2

により純粋な Si_3N_4 の積層が難しいためであるが組成Xを20%程度変化させるだけで十分な効果を得ることができた。

本実施例に示した集光レンズ付き受光素子を用いることで $35 \mu\text{m} \phi$ の受光径をもち $15 \mu\text{m} \phi$ の受光径を持つ受光素子と同様な動作速度を得ることができる。また、光ファイバーとの結合において $15 \mu\text{m} \phi$ の受光径をもつ受光素子に対して $35 \mu\text{m}$ の合わせ余裕をうることができる。さらに球状に終端された光ファイバーを用いた場合その一部を凹部に挿入することで光ファイバーの位置決めを容易にすることができる。

本発明による受光素子の実施例において集光レンズを基板裏面に形成したが基板表面に形成してもよい。この場合p側電極は受光領域を覆い隠さないような構造にするか、透明電極として例えばITOを用いることで、電極による光の遮断領域をなくす必要がある。さらに本受光素子の製造上の利点としては、全体がプレーナ構造になっているという点があげられるが、OEICとして他の

電気素子と集積化して光集積回路を構成しようとする電気的分離の問題が生じてくるため例えばInP基板を半絶縁性として受光素子をメサ構造とするか、素子間に誘電層を埋め込み誘電分離を行ってもよい。

ところで本実施例においては絶縁膜の凹部の内径を15 μ mとしたが、凹部の内径をさらに大きくすることで凹部に光ファイバーを挿入して位置決めをさらに容易にすることができる。また絶縁膜としてSi₃N₄膜とSiO₂膜及びその中間組成をもつ膜を用いたが、それ以外の絶縁膜または絶縁膜以外でも屈折率差を変化させながら堆積できるものならば有機質膜などでもよい。絶縁膜の堆積法において光CVD法を用いたが、これ以外の堆積法を用いてもよい。

また、実施例では受光領域をZnの気相拡散により形成しているが、例えばイオンインプランテーション法により受光領域を形成することが可能であるし、エッチングにより受光領域を分離することも可能である。なお、以上の実施例の説明に

おいては半導体材料をInP系としてきたが、他の半導体材料を用いてもよい。また、PINホトダイオードを例えばアバランシェホトダイオード、MSMホトダイオードなどとすることも可能である。

発明の効果

以上述べてきたように、本発明によれば受光素子に絶縁膜を堆積することで高速動作、広受光面積の受光素子を得ることができかつ製造も容易で大量生産に適している。プレーナー構造であるため実装も容易である。また、受光素子の動作速度を大きくするために受光領域の小径化が進み光ファイバーとの結合が難しくなっているが本発明の受光素子を用いることで光ファイバーとの大きな合わせ余裕をもつ受光素子を得ることができる。

4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の一実施例の受光素子の構造の断面図、第2図は本発明の一実施例の受光素子の製造方法の断面図、第3図は本発明の動作を示す

原理図、第4図は従来の受光素子の断面図、第5図は光ファイバーの作成方法の説明図である。

1・・・InP基板、2・・・光吸収層、3・・・光透過層、4・・・受光領域、5・・・n側電極、6・・・p側電極、7・・・凹部、8・・・絶縁膜。

代理人の氏名 弁理士 栗野重孝 ほか1名

第1図

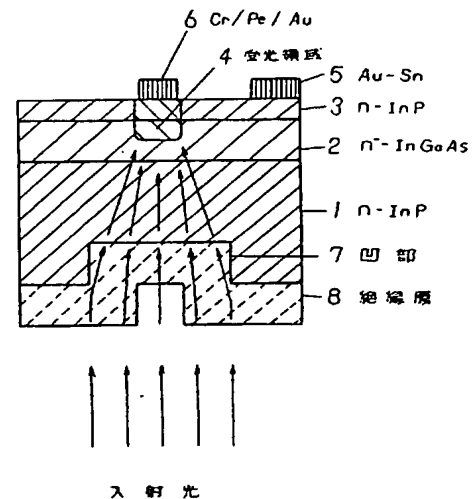


図 2

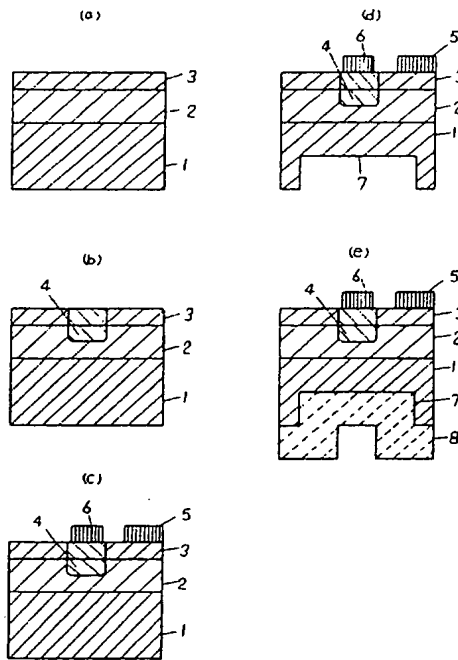


図 3

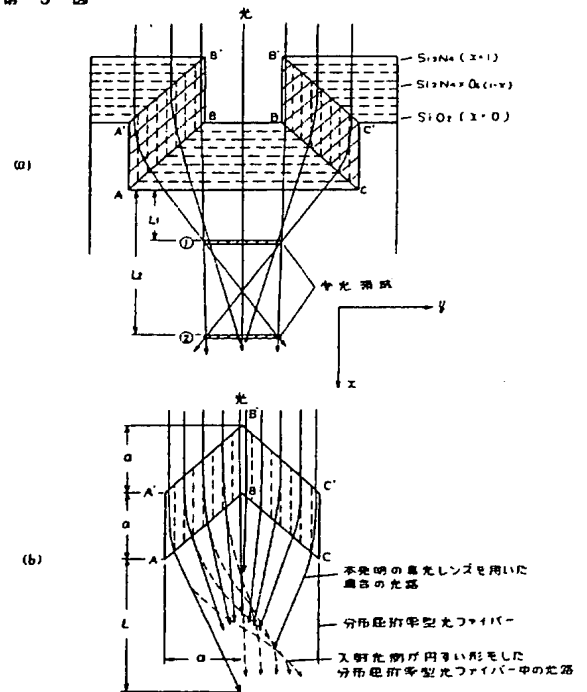


図 4

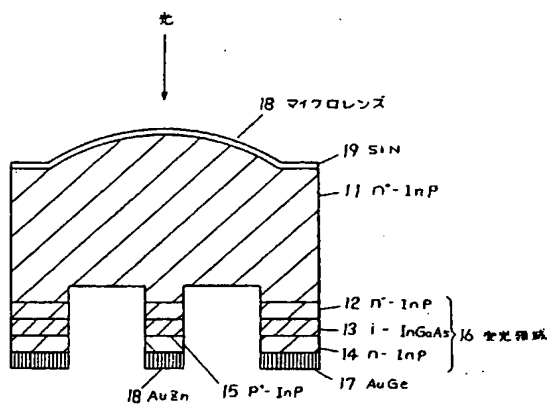
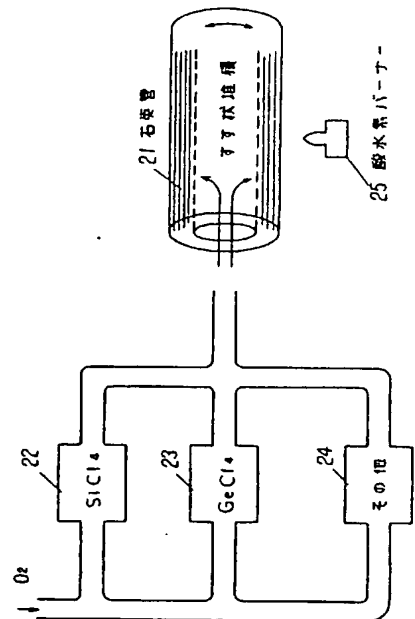


図 5





European Patent Office
Postbus 5818
2280 HV RIJSWIJK
NETHERLANDS
Tel.: +31 70 340 2040
Fax: +31 70 340 3016

Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

Frost, Alex John
Boult Wade Tennant,
Verulam Gardens
70 Gray's Inn Road
London WC1X 8BT
GRANDE BRETAGNE

Mr Frost
Records.....GC 211.031.07
L.D. on Comp.....
In Diary.....



EPO Customer Services

Tel.: +31 (0)70 340 45 00

Date

21.03.07

Reference
P81415EP00

Application No./Patent No.
04723373.9 - 1235 PCT/JP2004004211

Applicant/Proprietor
HAMAMATSU PHOTONICS K.K.

COMMUNICATION

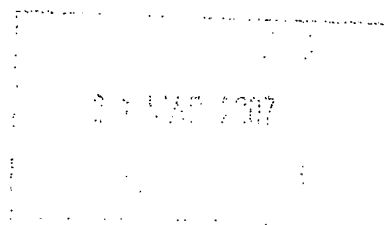
The European Patent Office herewith transmits as an enclosure the supplementary European search report under Article 157(2)(a) EPC for the above-mentioned European patent application.

If applicable, copies of the documents cited in the European search report are attached.

- ☒ Additional set(s) of copies of the documents cited in the European search report is (are) enclosed as well.

Refund of the search fee

If applicable under Article 10 Rules relating to fees, a separate communication from the Receiving Section on the refund of the search fee will be sent later.





DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document with indication, where appropriate, of relevant passages	Relevant to claim	CLASSIFICATION OF THE APPLICATION (IPC)
E	EP 1 548 836 A1 (HAMAMATSU PHOTONICS KK [JP]) 29 June 2005 (2005-06-29) * sequence ABSTRACT * * paragraphs [0106], [0107], [0112], [0121], [0123], [0124], [0127] - [0129], [0148] * * figures 2,3,5,6,8,14 * -----	1,4-14	INV. H01L27/144 H01L27/146
* X	JP 57 042175 A (FUJITSU LTD) 9 March 1982 (1982-03-09) * sequence ABSTRACT * * figures 1,2 * -----	1,7	
Y		4-6,8-14	
* Y	JP 2003 086826 A (HAMAMATSU PHOTONICS KK) 20 March 2003 (2003-03-20) * sequence ABSTRACT * * paragraphs [0016], [0018], [0027]; figures 1,5; sequence ABSTRACT * -----	4,5,8,10-14	
* Y	JP 05 121711 A (NIPPON ELECTRIC CO) 18 May 1993 (1993-05-18) * paragraph [0009]; figure 1; sequence ABSTRACT * -----	6,9	TECHNICAL FIELDS SEARCHED (IPC) H01L
X	JP 02 185070 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 19 July 1990 (1990-07-19) * figure 1; sequence ABSTRACT * -----	1,7	
X	WO 96/36999 A (HEIDENHAIN GMBH DR JOHANNES [DE]; SPECKBACHER PETER [DE]) 21 November 1996 (1996-11-21) * page 5, line 13 - page 7, line 10; figure 1 * -----	1,7	
The supplementary search report has been based on the last set of claims valid and available at the start of the search.			

2

EPO FORM 1503 03.82 (E04C04)

Place of search

The Hague

Date of completion of the search

14 March 2007

Examiner

Markmann, Markus

CATEGORY OF CITED DOCUMENTS

X : particularly relevant if taken alone
Y : particularly relevant if combined with another document of the same category
A : technological background
O : non-written disclosure
P : intermediate document

T : theory or principle underlying the invention
E : earlier patent document, but published on, or after the filing date
D : document cited in the application
L : document cited for other reasons
& : member of the same patent family, corresponding document

**ANNEX TO THE EUROPEAN SEARCH REPORT
ON EUROPEAN PATENT APPLICATION NO.**

EP 04 72 3373

This annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned European search report.
The members are as contained in the European Patent Office EDP file on
The European Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information.

14-03-2007

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1548836	A1	29-06-2005	AU 2003254876 A1 11-03-2004
			CN 1675771 A 28-09-2005
			WO 2004019411 A1 04-03-2004
			KR 20050073442 A 13-07-2005
JP 57042175	A	09-03-1982	NONE
JP 2003086826	A	20-03-2003	NONE
JP 5121711	A	18-05-1993	JP 2995960 B2 27-12-1999
JP 2185070	A	19-07-1990	JP 2650389 B2 03-09-1997
WO 9636999	A	21-11-1996	AT 313857 T 15-01-2006
			DE 19618593 A1 21-11-1996
			EP 0771475 A1 07-05-1997
			JP 10508987 T 02-09-1998
			US 5852322 A 22-12-1998